

Ảnh hưởng của các loại sợi khác nhau đến cường độ nén và kéo do ép chẻ của bê tông tính năng cao

Different fiber kinds affect high-performance concrete's compressive and splitting test strengths

> LÊ ANH THẮNG¹, TRẦN ANH TUẤN¹, TÔ MINH ĐOÀN², HUỖNH HỮU TÍN³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM; Email: thangla@hcmute.edu.vn

²Trường Cao đẳng Nghề Kiên Giang

³Cảng vụ đường thủy nội địa khu vực III

TÓM TẮT

Thí nghiệm khả năng chịu nén và chịu kéo do ép chẻ của bê tông tính năng siêu cao (High performance concrete - HPC) là chủ đề chính của bài báo. Mẫu thí nghiệm được chế tạo từ HPC được gia cường bằng ba loại sợi khác nhau, với tỷ lệ thể tích sợi thay đổi trong khoảng 0-2%. Dựa trên kết quả thí nghiệm, bài báo nhận xét về cường độ chịu nén và chịu kéo của HPC. Sợi thép mạ đồng là loại sợi có kết quả cường độ tốt nhất so với các loại sợi còn lại, sợi PP và Dramix 3D.

Từ khóa: Bê tông sợi; sợi thép; ứng xử kéo; thí nghiệm ép chẻ.

ABSTRACT:

Compressive and tensile strength due to split test of high performance concrete (HPC) is the main topic of the article. The test samples were made of HPC strengthened by three different fibers, with the fiber volume fractions varying in a range of 0-2%. Based on the test results, the article comments on the compressive and tensile strength of HPC. Copper-clad steel fiber is the fiber type with the best strength results compared to the others, PP fiber and Dramix 3D fiber.

Keywords: Fiber concrete; steel fiber; tensile behavior; the split tensile test.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông tính năng cao (HPC) là một dạng bê tông tiên tiến với nhiều tính năng tốt hơn so với bê tông thông thường. HPC thường có độ cứng cao, với cường độ nén đạt trên 80 MPa [1]. HPC có khả năng chịu ứng suất kéo do ép chẻ đạt hơn 7 MPa. Cường độ chịu nén của HPC có thể tăng lên đáng kể nếu sử dụng nguyên liệu, thiết bị trộn, và điều kiện bảo dưỡng nhiệt ẩm phù hợp.

Nếu cường độ chịu nén tăng lên trên 120 MPa, bê tông được xếp vào loại bê tông tính năng siêu cao (UHPC). Cường độ chịu nén của bê tông cường độ siêu cao có thể đạt tới 250 MPa hoặc thậm chí lên đến 800 MPa [2]. Bê tông tính năng cao và bê tông tính năng siêu cao đã được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, bao gồm xây dựng dân dụng, cầu đường, thủy lợi, và nhiều dạng công trình khác.

Tuy nhiên, HPC là vật liệu giòn, có cường độ chịu nén cao nhưng phá hoại diễn ra đột ngột. Sợi được thêm vào hỗn hợp bê tông để gia cường, tăng cường độ của bê tông, và để giảm tính giòn của bê tông. HPC gia cường sợi thì được gọi là HPFRC (High performance fiber reinforced concrete). Hàm lượng cốt sợi gia cường tốt nhất cho hỗn hợp HPFRC thường là 2% theo thể tích [3]. Với sự kết hợp của sợi gia cường, các tính năng của HPC được nâng cao. Khả năng chịu kéo và chịu uốn của HPC được tăng lên nhiều so với bê tông thông thường.

HPC có độ tự lèn cao, độ chảy lan của hỗn hợp bê tông có đường kính lớn hơn 600 mm. Độ tự lèn cao giúp công tác đổ bê tông được nhiều thuận tiện, không cần đầm rung [4]. Các thành phần vật liệu chính hình thành HPC bao gồm silica fume, xi măng, cát nghiền, cát hạt mịn, phụ gia siêu dẻo và nước. Cấp phối được sử dụng trong HPC được xác định dựa trên nguyên lý tối ưu hóa thành phần hạt nhằm giảm thấp nhất lỗ rỗng hình thành trong HPC.

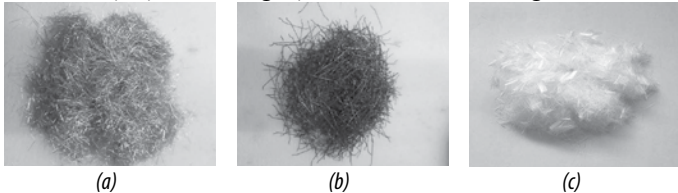
Sợi gia cường trong bê tông đã giúp bê tông tăng cường độ và từ đó có thể giảm kích thước của kết cấu, giảm nứt bên trong bê tông, gia tăng tuổi thọ của kết cấu. Kết cấu thanh mảnh của kết cấu HPC còn có thể mang lại một sự độc đáo và thẩm mỹ cho các công trình. HPC được sử dụng làm mặt dựng đúc sẵn, mang tính đột phá cũng như sáng tạo trong thiết kế. HPC gia cường sợi đã trở thành một đối tượng nghiên cứu thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học cả trong và ngoài Việt Nam [5]. Tuy nhiên, giá thành của HPC còn khá cao. Việc sử dụng hiệu quả loại sợi là một trong những yếu tố then chốt quyết định giá thành của HPC. Do đó, hiệu quả gia cường khả năng chịu kéo và nén của các loại sợi khác nhau, kể cả xét đến sự kết hợp của nhiều loại sợi trong cùng một loại bê tông nền, đã và đang được nghiên cứu nhiều bởi nhiều nhóm tác giả trong và ngoài nước. Tuy nhiên, bê tông gia cường

sợi có cường độ chịu kéo khó được xác định một cách chính xác do bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố. Bao gồm ảnh hưởng của kích thước mẫu, đặc tính của sợi gia cường, hướng đổ bê tông, và dạng thí nghiệm cường độ kéo.

Bài báo trình bày kết quả thử nghiệm, tập trung vào việc đánh giá mức độ tăng cường đồng thời khả năng chịu kéo bằng thí nghiệm ép chẻ và cường độ chịu nén của bê tông HPC được gia cường bởi các loại sợi khác nhau. Biết rằng do sự phân bố ngẫu nhiên của sợi, mức độ gia cường khả năng chịu kéo theo các phương khác nhau của mẫu thí nghiệm là hoàn toàn khác nhau. Thí nghiệm ép chẻ và nén được lựa chọn để thực nghiệm khả năng chịu kéo của bê tông HPC gia cường sợi dựa trên giả định hướng đổ vào mẫu, kích thước mẫu, loại vật liệu khi chịu kéo và nén là tương đồng nhau. Nghiên cứu chọn thí nghiệm ép chẻ vì thí nghiệm rất dễ thực hiện, và được sử dụng khá phổ biến ở Việt Nam khi thí nghiệm xác định khả năng chịu kéo của bê tông.

Lưu ý rằng sợi gia cường có thể giúp mẫu HPC hạn chế nở hông, giảm biến dạng do lực kéo theo phương vòng của mẫu hình trụ. Trong khi, sợi gia cường có thể giúp tăng khả năng chịu lực kéo tách gián tiếp theo phương bán kính mẫu lăng trụ.

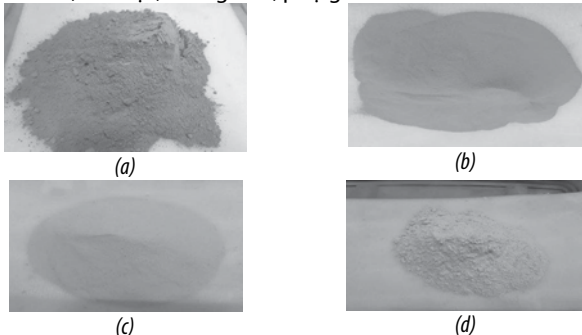
Thực nghiệm tập trung vào ứng xử kéo của bê tông HPC được gia cường bằng ba loại sợi khác nhau, với các hàm lượng thay đổi từ 0-2%. Các loại sợi sử dụng để gia cường gồm sợi thép mạ đồng (Hình 1a), sợi Polypropylene (Hình 1b), và sợi Dramix 3D (Hình 1c). Ba loại sợi thép này được chọn vì là ba loại sợi được sử dụng phổ biến ở Việt Nam. Ngoài ra, đặc điểm của các loại sợi sử dụng trong nghiên cứu cũng khá đặc biệt. Sợi thép mạ đồng là loại sợi thẳng, ngắn, cứng, và cường độ chịu kéo cao. Sợi Polypropylene có chiều dài tương đương với sợi thép mạ đồng nhưng mềm và có cường độ chịu kéo thấp hơn hẳn. Sợi Dramix 3D là loại sợi cứng, cường độ chịu kéo cao, có móc ở hai đầu, sợi dài hơn gấp đôi hai loại sợi mạ đồng và Polypropylene. Dựa trên kết quả thí nghiệm, bài báo đưa ra các bình luận về khả năng chịu kéo của bê tông, tác động đồng thời của loại sợi đến cường độ nén và kéo của bê tông.



Hình 1. Các loại sợi sử dụng trong nghiên cứu: (a) sợi thép mạ đồng, (b) sợi Dramix 3D, (c) sợi PP.

2. THÍ NGHIỆM

Nguyên vật liệu thí nghiệm là vật liệu thường được sử dụng cho bê tông siêu tính năng (UHPC). Bao gồm xi măng PC50, Silicafume, cát mịn, cát nghiền, phụ gia siêu dẻo và nước.



Hình 2. Nguyên liệu chế tạo: (a) Xi măng PC50, (b) Silicafume, (c) Cát trắng, (d) Cát trắng nghiền.

Xi măng PC50

Nghiên cứu này sử dụng xi măng PC50 (Hình 2a). Loại xi măng này có cường độ chịu nén 3 ngày là 29,7 MPa, và 28 ngày là 55,2 MPa, phù hợp với việc chế tạo UHPC.

Silicafume

Silicafume là một loại phụ gia khoáng có hoạt tính cao, hạt có đường kính từ 0,15 - 0,20 μm . Thành phần chính của silicafume là silic dioxit không kết tinh, có các màu trắng, xám, xám đen. Mật độ dung tích 150 - 300 kg/m^3 , ở dạng tự nhiên. Nghiên cứu này sử dụng silicafume dạng khô (hạt), sậm màu (Hình 2b).

Cát trắng

Cát trắng sử dụng trong thí nghiệm là cát hạt mịn, sạch, không có thành phần bụi bẩn và tạp chất. Cát có đường kính hạt từ 0,15 - 0,3 mm (Hình 2c).

Cát nghiền

Cát trắng nghiền sử dụng trong thí nghiệm ở các hạt, có kích thước nhỏ hơn 0,075 mm, được chế tạo từ quá trình nghiền cát thạch anh.

Phụ gia siêu dẻo

Trong quá trình thí nghiệm, chúng tôi đã sử dụng phụ gia ADVA CAST 5388V. Đây là loại phụ gia polymer giảm nước tầm cao chuyên dụng cho sản xuất bê tông.

Nước

Nước sử dụng để chế tạo hỗn hợp bê tông là nước sinh hoạt tại phòng thí nghiệm. Nước đảm bảo sạch, không có tạp chất, không có các thành phần hóa học làm ảnh hưởng tới quá trình đóng rắn của bê tông, cũng như làm giảm độ bền của kết cấu bê tông trong quá trình sử dụng.

Sợi thép mạ đồng

Sợi thép mạ đồng (màu đồng) chống rỉ sét, có cường độ cao hơn 2000 MPa. Dạng sợi thẳng, ngắn 1,3 cm (Hình 1a). Thông số kỹ thuật của sợi thép mạ đồng được tóm tắt ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của sợi thép mạ đồng

Chiều dài (mm)	Đường kính (mm)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Khối lượng riêng (g/cm^3)
13	0,2	>2000	7,85

Sợi Polypropylene

Sợi Polypropylene có màu trắng đục, mềm mịn. Sợi khá ngắn, với chiều dài sợi là 1,9 cm (Hình 1c). Được gọi tắt là sợi PP. Bảng 2 tóm tắt thông số kỹ thuật của sợi PP được sử dụng trong bài báo.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của sợi PP

Tính năng	Đơn vị	Thông số
Đường kính	μm	19
Độ giãn dài tối đa	%	20
Cường độ chịu kéo	MPa	550
Mô đun đàn hồi	MPa	6311
Độ nóng chảy	$^{\circ}\text{C}$	168
Trọng lượng riêng	g/cm^3	0.91

Sợi thép Dramix 3D

Sợi Dramix 3D có màu đen xám là sợi được kéo nguội, có các đầu neo, được kết với nhau thành từng vñ của các sợi. Khi được nhào trộn trong hỗn hợp bê tông, sợi thép sẽ bị tách rời và phân tán không liên tục trong hỗn hợp bê tông. Hiệu suất gia cường của loại sợi này sẽ phụ thuộc vào thiết bị trộn, độ sệt và thành phần hạt của bê tông nền.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của sợi thép Dramix 3D

Chiều dài (mm)	Đường kính (mm)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (N/mm^2)
35	0,55	>1100	± 210.00

Thiết kế cấp phối và chuẩn bị mẫu

Bảng 4 mô tả thành phần cấp phối đã được sử dụng trong nghiên cứu này. Cấp phối trộn được chọn dựa trên các nghiên cứu đã được công bố rộng rãi cho bê tông cường độ siêu cao. Các vật liệu cơ bản gồm xi măng, silicafume, cát nghiền, cát sạch hạt mịn, phụ gia siêu dẻo, nước sạch, và sợi gia cường gồm sợi thép hoặc sợi tổng hợp. Cấp phối sử dụng trong Bảng 4 có hàm lượng xi măng PC50 khá cao, 1000 kg/m³, tỉ lệ N/XM là 0,2. Ngoài ra, hàm lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng là 3% theo khối lượng xi măng. Hàm lượng silicafume so với xi măng là 25%.

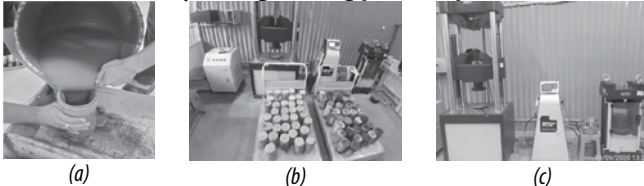
Bảng 4. Thành phần vật liệu trong cấp phối HPC

Loại vật liệu	HPC
Xi măng loại PC50 (kg/m ³)	1000
Silicafume (kg/m ³)	250
Cát hạt mịn (kg/m ³)	665
Cát nghiền (kg/m ³)	250
Phụ gia siêu dẻo (lít)	30
Nước (kg/m ³)	250
N/XM	0.2

Mẫu thí nghiệm có kích thước 100x200 được sử dụng cho cả hai thí nghiệm nén và ép chệ. Tổng cộng có bảy cấp phối, có và không có gia cường sợi. Mỗi cấp phối có sáu mẫu. Số mẫu thí nghiệm, cho mỗi số liệu về cường độ nén và ép chệ, là ba. Tổng cộng là 42 (= 7x6) mẫu thí nghiệm.

Mẫu nén, trước khi thử nghiệm, được mài phẳng hai đầu nhằm tránh mẫu bị phá hoại cục bộ do bề mặt mẫu không tiếp xúc tốt với bàn nén (Hình 3b). Tất cả các mẫu đều được rót vào khuôn, làm bằng ống nhựa PVC, theo hướng từ trên xuống như Hình 3a. Hình 3a cũng thể hiện hỗn hợp bê tông có dạng sệt và có khả năng tự lên cao.

Thiết bị thí nghiệm là dạng máy kéo, nén đa năng. Thiết bị có khả năng nén tối đa là 1000 kN, thiết bị nằm ngoài cùng phía bên trái, xem ở Hình 3c. Thiết bị thí nghiệm nén có khả năng nén tối đa là 3000 kN, thiết bị nằm ngoài cùng phía bên phải xem ở Hình 3c.



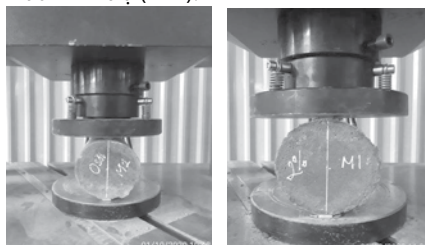
Hình 3. Quá trình chuẩn bị mẫu: (a) Quá trình rót hỗn hợp bê tông vào khuôn bằng ống PVC, (b) Mẫu được chuẩn bị trước khi thử nghiệm, (c) Thiết bị thử nghiệm.

Cường độ kéo do ép chệ

Cường độ chịu kéo gián tiếp do ép chệ, R_{kc} , được tính toán theo TCVN 8862- 2011. Trình tự thí nghiệm được thực hiện theo qui định trong TCVN 8862 - 2011, minh họa ở Hình 4. R_{kc} được tính toán chính xác đến 0,01 MPa theo biểu thức sau.

$$R_{kc} = \frac{P}{3,14HD}$$

Trong đó, R_{kc} là cường độ kéo do ép chệ (MPa), P là tải trọng gây ra phá hủy mẫu (N), H là chiều cao của mẫu (mm), và D là đường kính mẫu hình trụ (mm).



Hình 4. Thí nghiệm ép chệ mẫu hình trụ kích thước 100 x 200 mm.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Kết quả cường độ chịu nén

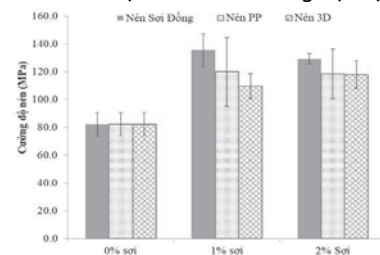
Kết quả thử nghiệm nén của bảy hỗn hợp bê tông khảo sát được trình bày tóm tắt trong Bảng 5. Hình 5 thể hiện kết quả thí nghiệm ở dạng biểu đồ. Cường độ chịu nén trung bình của các mẫu không được gia cường sợi là 82 MPa. Điều này chứng tỏ bê tông thử nghiệm đạt cường độ chịu nén của HPC.

Bảng 5. Kết quả nén mẫu của hỗn hợp HPC

Stt	Loại mẫu	Pmax(kN)	Ứng suất (MPa)	Trung bình (MPa)	Độ lệch chuẩn (MPa)
1	0% sợi	560.3	73.66	82.00	8.41
2		688.2	90.47		
3		624.0	82.03		
4	1% sợi MĐ	1079.5	141.90	135.76	11.81
5		929.2	122.14		
6		1110.3	143.23		
7	2% sợi MĐ	996.4	133.49	129.40	3.93
8		958.6	126.01		
9		971.0	127.64		
10	1% sợi PP	1033.8	135.90	120.10	24.8
11		1010.9	132.88		
12		696.4	91.54		
13	2% sợi PP	1032.6	138.33	118.47	17.9
14		787.4	103.50		
15		864.0	113.57		
16	1% sợi Dramix 3D	797.8	104.87	109.47	8.96
17		911.4	119.80		
18		804.2	103.74		
19	2% sợi Dramix 3D	973.1	127.92	118.17	9.92
20		901.6	118.51		
21		822.2	108.08		

HPC gia cường sợi thép mạ đồng (MĐ) cho cường độ chịu nén vượt hơn 120 MPa, đạt được cường độ của UHPC ở cả hai hàm lượng sợi là 1% và 2%. Cường độ trung bình của bê tông HPC gia cường 1% sợi MĐ lớn hơn trường hợp có 2% sợi MĐ. Tuy nhiên, độ lệch chuẩn trong trường hợp 2% sợi là bé hơn hẳn của trường hợp có 1% sợi MĐ. Nói cách khác sợi thép mạ đồng giúp HPC tăng cường độ chịu nén lên đáng kể và đạt độ tin cậy cao.

Sợi PP cho cường độ chịu nén xấp xỉ bằng 120 MPa ở cả hai hàm lượng sợi là 1% và 2%. Cường độ trung bình của bê tông HPC, được gia cường 1% sợi PP, lớn hơn trường hợp được gia cường 2% sợi PP là không nhiều, khoảng 1,3%. Độ lệch chuẩn trong trường hợp 2% sợi PP cũng lớn hơn không nhiều so với trường hợp gia cường 1% sợi PP. Vậy có thể nói hàm lượng 1% sợi PP gia cường HPC là tối ưu hơn cả về mặt kinh tế và cường độ chịu nén.



Hình 5. Biểu đồ so sánh kết quả nén trung bình của các mẫu HPC

Sợi thép Dramix 3D cho cường độ chịu nén tăng xấp xỉ bằng 110 MPa ứng với hàm lượng sợi là 1% và 2%. Cường độ trung bình của bê tông HPC được gia cường 2% sợi Dramix 3D là lớn hơn trường hợp 1% sợi Dramix 3D, tuy nhiên chênh lệch là không đáng kể. Độ lệch chuẩn trong trường hợp sợi 2% là xấp xỉ trường hợp gia cường 1% sợi Dramix

3D. Tương tự như trường hợp sợi PP, trường hợp 1% sợi Dramix 3D gia cường HPC cho kết quả tốt hơn về cả mặt kinh tế và cường độ chịu nén.

Hình 5 thể hiện khi gia cường sợi, cường độ chịu nén của mẫu được gia cường sợi tăng cao hơn trường hợp không được gia cường sợi. Khi tăng hàm lượng sợi lên 2% thì mức độ ổn định về cường độ chịu nén là tốt hơn, thể hiện ở độ lệch chuẩn là nhỏ hơn.

Kết quả cường độ chịu kéo

Bảng 6 tóm tắt kết quả ép chế của hỗn hợp bê tông thử nghiệm khi có và không có gia cường bằng sợi thép MĐ với các hàm lượng sợi khác nhau.

Bảng 6. Kết quả ép chế mẫu của hỗn hợp HPC gia cường bằng sợi mạ đồng

Stt	Loại mẫu	Pmax(kN)	Ứng suất (MPa)	Trung bình (MPa)	Độ lệch chuẩn (MPa)
1	0% sợi	401.295	12.77	13.67	1.45
2		481.937	15.34		
3		404.82	12.89		
4	1% sợi	364.059	11.59	14.93	2.92
5		508.13	16.17		
6		534.84	17.02		
7	2% sợi	465.7	14.82	15.76	1.26
8		540.482	17.20		
9		479.41	15.26		

Bảng 6 thể hiện khi tăng hàm lượng sợi thép MĐ trong hỗn hợp HPC thì cường độ ép chế của mẫu đã tăng lên đáng kể. Cụ thể là khi tăng hàm lượng sợi từ 0% lên 1% cường độ chịu ép chế tăng 8,45%, hàm lượng sợi tăng từ 1% lên 2% cường độ ép chế tăng lên 8%. Kết quả thí nghiệm cho thấy sợi thép mạ đồng phân bố tương đối đồng đều và làm việc tốt cùng bê tông nền. Đây là lý do tăng khả năng chịu ép chế của bê tông.

Bảng 7. Kết quả ép chế mẫu của hỗn hợp HPC gia cường bằng sợi PP

Stt	Loại mẫu	Pmax (kN)	Ứng suất (MPa)	Trung bình (MPa)	Độ lệch chuẩn (MPa)
4	PP 1% sợi	424.524	13.51	15.02	2.24
5		438.557	13.96		
6		552.890	17.60		
7	PP 2% sợi	448.346	14.27	13.54	1.80
8		466.853	14.86		
9		361.209	11.50		

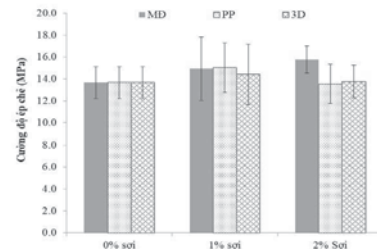
Bảng 7 tóm tắt kết quả ép chế của hỗn hợp HPC gia cường bằng sợi PP ở các hàm lượng sợi khác nhau. Cường độ ép chế cao nhất 15,02 MPa, ứng với hàm lượng sợi 1%, cao hơn so với mẫu 0% sợi là 9%. Trong khi đó hàm lượng tăng từ 1% sợi lên 2% sợi, thì cường độ ép chế của mẫu lại giảm xuống còn 13,54 MPa tức là giảm 9,8% so với mức hàm lượng sợi 1%. Tuy nhiên, khi sợi PP quá nhiều trong hỗn hợp bê tông (2%) thì hiện tượng rối sợi có thể đã xuất hiện và làm giảm khả năng chịu kéo khi ép chế. Khả năng chịu ép chế của trường hợp 2% giảm 0,9% so với trường hợp không sợi.

Bảng 8 tóm tắt kết quả ép chế của hỗn hợp HPC được gia cường bằng sợi thép Dramix 3D ở các hàm lượng sợi khác nhau. Cường độ chịu ép chế đạt giá trị cao nhất là 14,41 MPa ở hàm lượng sợi thép là 1%, cường độ này lớn hơn so với mẫu bê tông không có sợi. Nhưng khi tiếp tục tăng hàm lượng sợi lên 2% thì cường độ chịu ép chế giảm xuống còn 13,77 MPa tức là giảm xuống 4,4%.

Bảng 8. Kết quả ép chế mẫu hỗn hợp HPC gia cường bằng sợi thép Dramix 3D

Stt	Loại mẫu	Pmax (kN)	Ứng suất (MPa)	Trung bình (MPa)	Độ lệch chuẩn (MPa)
4	1% sợi	494.888	15.75	14.41	2.75
5		353.354	11.25		
6		509.505	16.22		
7	2% sợi	388.448	12.36	13.77	1.49
8		481.947	15.34		
9		427.687	13.61		

Cường độ chịu ép chế của hỗn hợp HPC sợi thép Dramix 3D tăng ở hàm lượng 1% và giảm ở hàm lượng 2%. Nguyên nhân là do cấu trúc của sợi Dramix 3D hoàn toàn khác với sợi thép mạ đồng. Khi hàm lượng sợi Dramix 3D quá lớn hiện tượng rối sợi vẫn có thể xảy ra, do đặc tính có móc ở hai đầu của sợi. Loại sợi này có tên gọi khác là sợi hook. Do có móc ở hai đầu, Sợi Dramix 3D có thể có tác dụng tốt trong hỗn hợp có cốt liệu đá dăm. Ngoài ra, kích thước mẫu cũng làm ảnh hưởng đến sự phân bố của sợi Dramix 3D.



Hình 6. Biểu đồ ép chế mẫu UHPC của 3 loại sợi thử nghiệm

Hình 6 thể hiện cường độ chịu ép chế của hỗn hợp bê tông HPC với các loại sợi và hàm lượng thép khác nhau. Với hàm lượng sợi 2%, mẫu chứa sợi mạ đồng có đạt cường độ chịu ép chế lớn nhất, với giá trị là 15,76 MPa. Sợi PP và sợi thép Dramix Dramix 3D, với hàm lượng 2%, đều tăng về khả năng chịu kéo so với mẫu không sợi. Mức độ tăng lần lượt là 9% và 5%.

Khi tăng hàm lượng sợi từ 1% lên 2%, thì chỉ có sợi thép mạ đồng tăng lên thêm 5% còn các loại sợi PP và sợi thép Dramix 3D đều gây ra giảm cường độ chịu ép chế của mẫu. Nguyên nhân chính là do đặc tính của sợi. Vậy có thể nói kết quả thí nghiệm ép chế trên mẫu hình trụ bị ảnh hưởng bởi sự phân bố của sợi trong mẫu. Sự phân bố này bị chi phối lớn bởi đặc tính của sợi.

Đánh giá cường độ chịu kéo

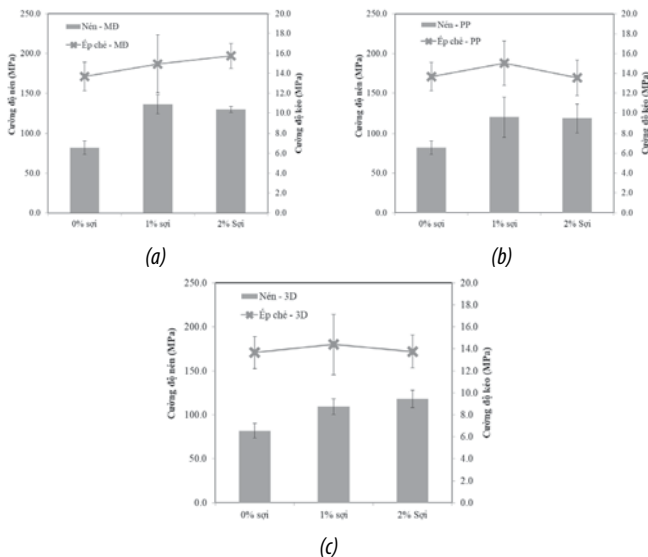
Bảng 9. Tổng hợp cường độ ép chế của một số nghiên cứu khác về HPC

Tiêu chuẩn/tác giả	Cường độ ép chế (MPa)	Kích thước mẫu	Đặc tính sợi gia cường
JSCE (2006) [6]	11.7	Mẫu hình lăng trụ kích thước 100x200 mm	Hàm lượng 2% sợi; kích thước sợi 15/0.2mm
FWHA (USA) (2018) [7]	15 - 20	Mẫu hình lăng trụ kích thước 100x200 mm	Hàm lượng 1 - 4% sợi
EDRC (US Army Corps of Engineers) [8]	18.7 - 25.2	Mẫu hình lăng trụ kích thước 100x200 mm cho thí nghiệm nén; trụ 150x300 mm cho thí nghiệm mô đun đàn hồi	Sử dụng các loại sợi khác nhau
EI - Helou (2014) [9]	7.2 - 21.2	Mẫu hình lăng trụ kích thước 100x200 mm	Hàm lượng 0 - 2% sợi
Kết quả thực nghiệm của nghiên cứu	13.54 - 15.76	Mẫu hình lăng trụ kích thước 100x200 mm	Hàm lượng 0 - 2% sợi

Bảng 9 so sánh cường độ ép chẻ trong có được từ thử nghiệm trong nghiên cứu này và kết quả thử nghiệm của các tiêu chuẩn và các tác giả khác. Bảng 9 cho thấy cường độ ép chẻ của các mẫu hình trụ HPC trong nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với phạm vi giá trị của các tiêu chuẩn và các nghiên cứu khác trên thế giới. Cường độ chịu ép chẻ trong nghiên cứu có giá trị dao động từ 13.54 - 15.76 MPa ứng với các hàm lượng sợi khác nhau lần lượt là 0%, 1%, 2%.

Đánh giá tương quan về ảnh hưởng cường độ nén và ép chẻ

Hình 7 so sánh ảnh hưởng của các loại sợi khác nhau đến cường độ chịu nén và chịu kéo khi bị ép chẻ. Hình 7a thể hiện khi tăng hàm lượng sợi thép MĐ thì cường độ ép chẻ tăng. Cường độ nén trung bình của bê tông gia cường sợi MĐ trong trường hợp 1% tăng cao hơn trường hợp 2% sợi. Độ lệch chuẩn của cường độ kéo khi bị ép chẻ và cường độ nén của mẫu bê tông gia cường 2% sợi nhỏ hơn hẳn trường hợp gia cường 1% sợi và trường hợp đối chứng không có sợi gia cường. Điều này chứng tỏ sợi thép mạ đồng có tác dụng gia cường tốt cho HPC. Ngoài ra, hàm lượng gia cường sợi thép mạ đồng nên chọn là 2% để có độ ổn định cao về cường độ kéo do bị ép chẻ và nén.



Hình 7. So sánh tác động của các loại sợi khác nhau đến cường độ ép chẻ và nén: (a) Sợi thép mạ vàng, (b) Sợi PP, (c) Sợi Dramix 3D.

Hình 7b thể hiện bê tông HPC đạt tối ưu về cường độ ép chẻ và cường độ nén ứng với hàm lượng sợi PP gia cường là 1%. Cường độ nén trung bình trong trường hợp 1% sợi PP tăng cao hơn trường hợp 2% sợi PP và đồng thời cường độ ép chẻ trung bình trong trường hợp 1% sợi PP cũng cao hơn trường hợp 2% sợi PP. Độ lệch chuẩn về cường độ ép chẻ và cường độ nén của mẫu bê tông gia cường 2% sợi nhỏ hơn trường hợp gia cường 1% sợi, nhưng lớn hơn độ lệch chuẩn của bê tông đối chứng (không có sợi gia cường). Điều này chứng tỏ không nên chọn sợi PP là để gia cường cho HPC. Sợi PP chỉ nên dùng để cải thiện một tính chất nào đó của HPC. Hàm lượng gia cường sợi PP nên chọn là 1% để vẫn đảm bảo được cường độ của HPC.

Hình 7c thể hiện khi tăng hàm lượng sợi Dramix 3D thì cường độ nén trung bình tăng. Cường độ kéo trung bình trong trường hợp 1% sợi Dramix 3D tăng hơn 6,7% so với trường hợp 2% sợi Dramix 3D. Mức độ tăng này là không đáng kể. Độ lệch chuẩn về cường độ ép chẻ của mẫu bê tông gia cường 2% sợi Dramix 3D nhỏ hơn hẳn trường hợp gia cường 1% sợi Dramix 3D và xấp xỉ bằng mẫu bê tông đối chứng. Điều này chứng tỏ sợi thép Dramix 3D có tác dụng gia cường tốt cho HPC khi hàm lượng sợi Dramix 3D gia cường là 2%.

4. KẾT LUẬN

Bài báo thực hiện thí nghiệm nén và kéo gián tiếp thông qua ép chẻ mẫu HPC có hoặc không có gia cường cốt sợi. Thực hiện thí nghiệm xác định cường độ kéo cho hỗn hợp HPC được gia cường bằng các loại và các hàm lượng sợi khác nhau. Các loại sợi được sử dụng trong thí nghiệm gồm sợi thép mạ đồng, sợi PP và sợi thép Dramix 3D. Mục tiêu là dựa trên kết quả thực nghiệm để đánh giá tác động của các loại sợi và hàm lượng thể tích sợi khác nhau đến khả năng chịu nén và ép chẻ, với cùng một hướng đổ bê tông giống nhau. Một số kết luận rút ra trong nghiên cứu này như sau:

Sợi thép mạ đồng là loại sợi có kết quả cường độ tốt nhất so với các loại sợi còn lại, sợi PP và Dramix 3D. Sợi thép mạ đồng là loại sợi thích hợp để gia cường cho hỗn hợp HPC. Khả năng phân tán của loại sợi này là tương đối tốt, phân bố tương đối đều, dẫn đến cường độ nén và kéo do ép chẻ đều đạt được mức độ ổn định ở mức cao.

Đối với loại sợi PP, khi tăng hàm lượng sợi trong hỗn hợp HPC lên cao hơn 1% thì cường độ ép chẻ giảm so với mẫu bê tông không sợi. Không nên chọn sợi PP là để gia cường cho HPC. Sợi PP chỉ nên dùng để cải thiện một tính chất nào đó của HPC. Sợi PP có tác dụng giảm nứt do co ngót trong bê tông là khá tốt, nhưng khi hàm lượng sợi tăng lên nhiều sẽ gây vón cục, phân bố sợi không đồng đều ảnh hưởng tới chất lượng của bê tông. Hàm lượng sợi PP nên chọn là 1% để vẫn đảm bảo được cường độ của HPC.

Sợi thép Dramix 3D là sợi được đánh giá cuối cùng trong thử nghiệm, cường độ ép chẻ của hỗn hợp HPC sau khi gia cường 1% sợi là cao hơn một ít so với khi gia cường 1% sợi, khoảng 6,7%. Tuy nhiên, sợi thép Dramix 3D vẫn được cho là có tác dụng gia cường tốt cho HPC khi hàm lượng sợi Dramix 3D gia cường là 2%. Vì độ lệch chuẩn về cường độ nén và ép chẻ của mẫu bê tông gia cường 2% sợi Dramix 3D nhỏ hơn hẳn trường hợp gia cường 1% sợi Dramix 3D và xấp xỉ bằng mẫu bê tông đối chứng không có sợi gia cường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Graybeal B.A. (2005), *Characterization of the behavior of ultra-high performance concrete*, Ph.D. Dissertation, University of Maryland, USA.
- [2]. Eppers, S.; Müller, C. (2008), *Autogenous shrinkage strain of ultra-high-performance concrete (UHPC)*, Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, 5-7 March 2008, Kassel, Germany, Eds. E. Fehling, M. Schmidt, S. Stürwald (Kassel, Germany: Kassel University Press), pp.433-441. (in book pdf) (Muller).
- [3]. An, L.H. (2018), *Behavior of circular steel tube confined UHPC and UHPFRC columns under axial loading*, Doctoral Dissertation, Institute of Structural Engineering (IKI), University of Kassel.
- [4]. Bache, H.H (1981), *Densified Cement/Ultra-Fine Particle-Based Materials. Presented at the 2nd International Conference on Superplasticizers in Concrete*, Ottawa, 10-12 June, published by Aalborg Cement, PO Box 165, DK9100 Aalborg, Denmark, 12p.
- [5]. An, L.H., Bao, T.B.(2020): Nghiên cứu tổng quan các đặc tính cơ học của bê tông chất lượng siêu cao UHPC – kinh nghiệm từ Cộng hòa Liên bang Đức. *Khoa học công nghệ*, 08, 2020.
- [6]. JSCE, Guidelines for concrete No.9: *Recommendation for design and construction of ultra high strength fiber reinforced concrete structures*.
- [7]. FHWA-HRT-18-036 (2018), *Properties and Behavior of UHPC-Class Materials*.
- [8]. Dylan A. Scott, Wendy R. Long, Robert D. Moser, Brian H. Green, James L. O’Daniel, and Brett A. Williams (2015), *Impact of Steel Fiber Size and Shape on the Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete*. Report, US Army Corps of Engineers, EDRC.
- [9]. El-Helou R.G., Moen C.D., and Cusatis G. (2014), *Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete: Extensive Material Characterization, Model Validation, and Structural Simulations*. Presentation at ACI Fall 2014 Convention, Washington, DC, October 27, 2014.